



La variabilitat interdecadal de l'Oscil·lació de l'Atlàntic Nord com a possible determinant de la freqüència de rierades a Arenys

Marcos Fernández-Martínez ^{1,2,3} i Ander Achotegui-Castells ^{1,2}

¹ Unitat d'Ecologia Global, CREA-FCIC-UAB, Cerdanyola del Vallès, Catalunya

² CREA-FC, Cerdanyola del Vallès, Catalunya

³ Delegació de la Serralada Litoral Central, ICHN, Mataró

INTERDECADAL VARIABILITY OF THE NORTH ATLANTIC OSCILLATION AS A POSSIBLE DETERMINANT OF THE FREQUENCY OF FLOODS IN ARENYS (NE IBERIAN PENINSULA). – People from the Catalan coastline have always been concerned about the frequency of floods in their sand rivers. In this paper, we investigate possible factors explaining the interdecadal variability observed in the frequency of flooding in the Arenys' sandriver (NE Iberian Peninsula), previously described by other authors and discussed during the seminar "Les rierades del Maresme" (21 May 2013) held in Mataró (Barcelona). Thus, we analysed the time series of the number of floods in the Arenys sand river and the historical record of flooding in Catalonia, to correlate them with the number of sunspots per year, the teleconnection indices of El Niño-Southern Oscillation, the North Atlantic Oscillation and the Western Mediterranean Oscillation and the meteorological record of the Fabra Observatory (Collserola, Barcelona). Our results point out a positive correlation between the North Atlantic Oscillation and the frequency of floods in the Arenys' sand river on an interdecadal scale, both showing oscillations cycles of approximately 60 years. At the end of the paper, we briefly discuss the possible geological, ecological and social implications of this purported interdecadal periodicity.

Llista d'acrònims

ENSO_i = El Niño – Oscil·lació del Sud (mitjana anual)

ENSO_{iw} = El Niño – Oscil·lació del Sud (mitjana període octubre - març ~ hivern)

NAO_i = Oscil·lació de l'Atlàntic Nord (mitjana anual)

NAO_{iw} = Oscil·lació de l'Atlàntic Nord (mitjana desembre-febrer ~ hivern)

WeMO_i = Oscil·lació del Mediterrani Occidental (mitjana anual)

WeMO_{iw} = Oscil·lació del Mediterrani Occidental (mitjana desembre-febrer ~ hivern)

IR = Índex de Rierades

IC = Índex d'Inundacions Històriques de Catalunya

Introducció

Els pobladors del Maresme, i de la regió Mediterrània en general, han patit els efectes de les pluges torrencials des de temps immemorials. L'establiment de nuclis urbans propers o literalment sobre la llera de les rieres sovint ha comportat greus danys materials i pèrdues humanes quan les pluges torrencials han provocat fortes rierades. A còpia de patir-ne les conseqüències, la "cultura de riera" (Forn Salvà, 2002) ha anat quedant impresa en la personalitat dels habitants de regions que, com al Maresme, han hagut de conviure amb aquests sobtats contratemps.

Tot i les dificultats que implica, actualment és relativament factible predir quan baixaran les ri-

eres a curt termini, però encara no sabem amb certesa què determina l'existència de períodes de gran freqüència de rierades (o pluges torrencials) i d'altres de baixa freqüència. En aquest treball, ens hem proposat explorar possibles relacions entre diferents factors que poden fer variar el clima globalment o local i el seu efecte en la freqüència de rierades d'Arenys.

Les variacions en el clima tenen orígens molt diferents. Des dels cicles de Milankovitch (canvis en l'excentricitat orbital [100.000 anys], en inclinació de l'eix [41.000 anys] i en la precessió dels equinoccis [25.800 anys]) o els cicles en l'oscil·lació del pla de l'eclíptica (100.000 anys) que poden durar un centenar de milers d'anys, fins a fenòmens associats a teleconnexions que poden

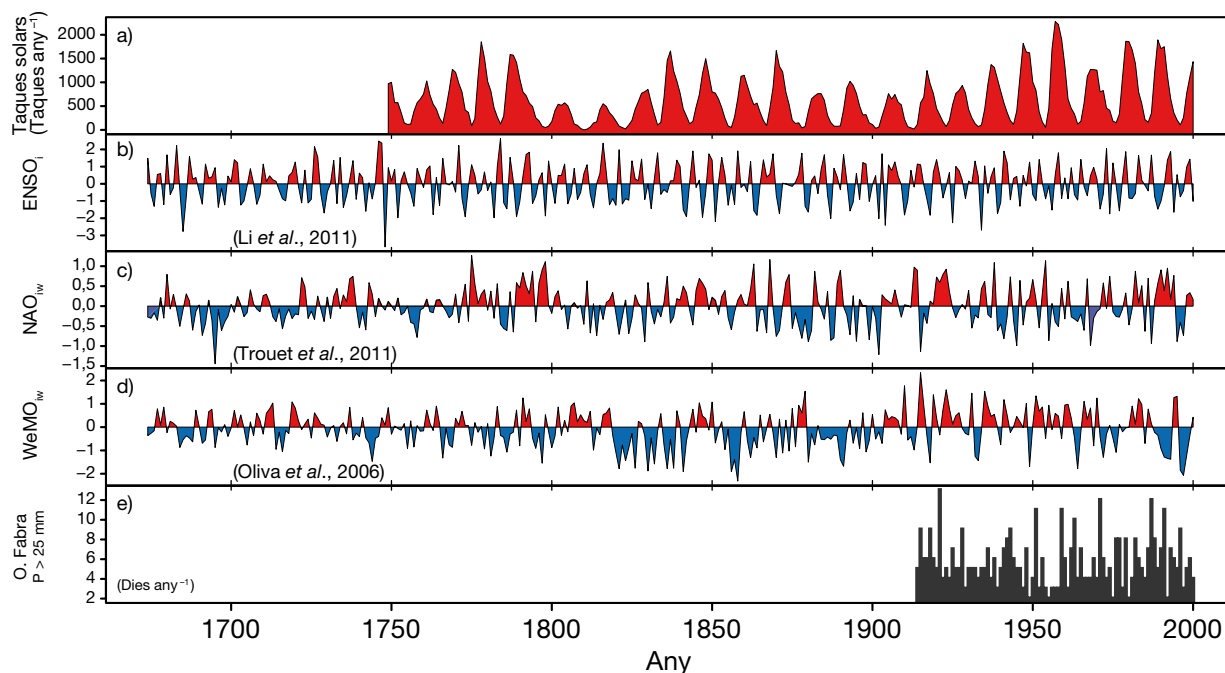


Figura 1. Evolució temporal de a) el nombre de taques solars per any, b) índex ENSO anual, c) índex NAO hivernal, d) índex WeMO hivernal i e) nombre de dies per any amb precipitació superior a 25 mm a l'Observatori Fabra. Les unitats dels índexs de teleconnexió es troben en desviacions estàndards.

presentar una periodicitat de diverses dècades. A banda d'aquestes variacions i del canvi climàtic d'origen antropogènic que estem patint, són diversos els factors que alguns científics (amb més o menys controvèrsia) han relacionat amb canvis en el clima global o regional.

D'una banda, **les taques solars**. Aquestes són fenòmens temporals a la fotosfera del sol que es perceben visualment com a taques negres comparades amb les regions que les envolten. Les taques solars es corresponen amb camps magnètics que inhibeixen la convecció i que tenen com a resultat una reducció de la temperatura respecte a les zones adjacents. Aquestes variacions estan estretament relacionades amb la quantitat de radiació solar que arriba a la Terra, essent superior quantes més taques es produeixen. El nombre de taques solars varia substancialment d'any en any, malgrat que els màxims presenten una marcada periodicitat cada 11 anys (fig. 1a). Alguns autors han relacionat la freqüència de taques solars amb canvis en el clima de la Terra. El Gran Màxim (coincidint amb l'Època Càlida Medieval), i el Mínim de Maunder (a la segona meitat del segle XVII, coincidint amb la Petita Edat del Gel) es caracteritzen per ser, respectivament, períodes en què el nombre de taques solars va ser anòmalament més alt i més baix que de mitjana. Aquest fet va portar a alguns autors a relacionar el nombre de taques solars amb la temperatura de la Terra (Eddy, 1976). Tot i això, estudis posteriors han determinat que difícilment l'efecte de les taques solars va tenir relació amb els canvis de temperatura observats, per exemple, durant el Mínim de

Maunder i que, especialment, el possible efecte que han tingut sobre l'augment de la temperatura que ha experimentat la Terra des de l'inici de l'era industrial, sembla negligible (Foukal *et al.*, 2006).

De la mateixa manera, el nombre de taques solars està inversament relacionat amb els **rajos còsmics** que arriben a la Terra. Els rajos còsmics són majoritàriament partícules originades fora del nostre sistema solar, principalment protons i nuclis atòmics, que penetren a l'atmosfera i fins i tot poden arribar a impactar contra la superfície terrestre. El seu paper en el clima de la Terra és també controvertit. Alguns autors han suggerit que un augment de rajos còsmics pot facilitar la condensació del vapor d'aigua, formant més núvols i, per tant, refredant la terra (Svensmark i Friis-Christensen, 1997). Estudis més recents no descarten aquesta hipòtesi, però coincideixen en afirmar que els canvis produïts en la quantitat de rajos còsmics que arriben a la Terra no poden explicar l'escalfament que està patint el planeta (Pierce i Adams, 2009).

D'altra banda, les **teleconnexions** són patrons de variabilitat de baixa freqüència conformades per un dipol anticicló – depressió, localitzades a unes determinades àrees i separades per uns quants milers de quilòmetres, que presenten una relació entre si (és a dir, l'estat de l'anticicló no és independent de l'estat de la depressió) (Martín-Vide, 2002). Aquests canvis en l'estat de l'atmosfera de dos punts geogràfics distants pot provocar que allà on sovint hi ha precipitació deixi d'haver-ne i viceversa. L'estat de les teleconnexions es pot mesurar amb índexs de teleconnexió que

donen informació sobre la fase en què es troba el dipol. Quan l'anticicló i la depressió guanyen força, la teleconnexió entra en fase positiva. Si la situació es capgira i l'anticicló i la depressió perden força (o fins i tot s'inverteixen) es diu que la teleconnexió està en fase negativa, un estat que, d'altra banda, acostuma a ser de més curta durada que el positiu. A més, els valors que prenen les teleconnexions durant els mesos d'hivern acostumen a ser informatius, sobre l'estat del dipol durant les estacions següents.

Possiblement, la teleconnexió més important a escala planetària sigui El Niño-Oscil·lació del Sud (ENSO, fig. 1b), que relaciona les àrees d'Amèrica del Sud (anticicló) i d'Àustràlia - Oceania (depressió). Els hiverns de Niño (fase negativa de l'índex, ENSO_i⁻) es relacionen amb condicions anòmalament més humides i càlides a la vessant pacífica d'Amèrica del Sud equatorial mentre que a Àustràlia i al Sud-Est Asiàtic experimenten un temps més càlid i sec del que és habitual. A banda dels efectes que té a escala regional, són nombrosos els estudis que demostren la seva influència d'àmbit global (Grove, 1998). Per posar un exemple, els anys de Niño la temperatura de la terra acostuma a situar-se per sobre de la mitjana, mentre que durant els anys de Niña (ENSO_i⁺) passa tot el contrari (NOAA, 2012).

L'Oscil·lació de l'Atlàntic Nord (NAO, fig. 1c) és presumiblement la teleconnexió que té més influència sobre el continent europeu (Hurrell *et al.*, 2003; Trigo *et al.*, 2002). La NAO relaciona l'anticicló de les Açores i la depressió d'Islàndia. Quan es troba en fase positiva, els hiverns acostumen a ser suaus i humits a bona part d'Europa, mentre que quan entra en fase negativa acostumen a ser freds i secs. A escala encara més reduïda, l'Oscil·lació de la Mediterrània Occidental (WeMO, fig. 1d) relaciona l'anticicló de les Açores amb la depressió de Ligúria (Itàlia) i s'ha demostrat negativament relacionada amb la freqüència i intensitat de la precipitació al llevant de la península Ibèrica (Martín-Vide i López-Bustins, 2006). Ambdues teleconnexions, la NAO i la WeMO, s'han fet servir amb anterioritat en l'estudi de la variabilitat de la precipitació, episodis d'inundacions i pluges torrencials a la península Ibèrica. Si bé és cert que la NAO s'ha suggerit poc correlacionada amb la precipitació al llevant peninsular, la WeMO ha presentat bones correlacions amb els episodis de pluja intensa a escala diària (Martín-Vide i López-Bustins, 2006; Martín-Vide *et al.*, 2008).

Així doncs, l'objectiu d'aquest estudi preliminar és trobar una possible explicació per a la variabilitat i periodicitat interdecadal de les rierades de la riera d'Arenys descrita per Forn Salvà a *Entranyable riera* (2002) i discutida a la conferència *Les rierades del Maresme* a càrrec del Dr. Xavier Font (dins del cicle de seminaris *Roques, sorra i aigua* organitzats per la Secció de Ciències del Museu de Mataró) (Font Cisteró i Gutiérrez Camarós, 2014). La hipòtesi inicial d'aquest treball

és que la variabilitat interdecadal en els patrons de circulació atmosfèrica general podrien estar darrere de la periodicitat *seixanta-anual* mostrada per les rierades d'Arenys. Per testar això, hem fet servir un registre de rierades de gairebé 400 anys i les sèries temporals de l'ENSO (El Niño Oscil·lació del Sud), de la NAO (Oscil·lació de l'Atlàntic Nord) i de la WeMO (Oscil·lació de la Mediterrània Occidental). Tanmateix, també hem fet servir la sèrie temporal de taques solars ja que aquestes van ser suggerides, no sense precaucions, per Forn Salvà (2002) durant el seminari *Les rierades del Maresme* com a possibles causants de la periodicitat de rierades. Finalment, per validar els resultats vam fer servir el llistat d'inundacions històriques incloses a l'Annex IV de l'Avaluació preliminar del risc d'inundació al districte de conca fluvial de Catalunya (Agència Catalana de l'Aigua i Direcció General de Sostenibilitat de la Costa i el Mar, 2012).

Materials i mètodes

Zona d'estudi

Malgrat haver estat finalment canalitzada a la seva part baixa, la riera d'Arenys (fig. 2, 41°35'45.14"N, 2°32'34.74"E) és, possiblement, la riera del Maresme més notòriament coneguda a causa de la força i la imprevisibilitat de llurs rierades i dels desperfectes que ocasiona. La riera d'Arenys neix dels torrents provinents de la Serra del Corredor i del Montnegre. Les capçaleres de llurs torrents es troben bàsicament al Montalt, a Sobirans i a Collsacreu, malgrat que també rep afluents provinents de la Serra del Pollastre, del Turó de Bellsollé, del Turó del Fangar i de la Serra d'en Sala. Aigües avall, la riera travessa els municipis d'Arenys de Munt i d'Arenys de Mar per acabar desembocant a la platja de la Picòrdia, que



Figura 2. Ortofotomapa de la conca de la riera d'Arenys. En blau destaca l'eix principal de la riera (6.5 km aproximadament).

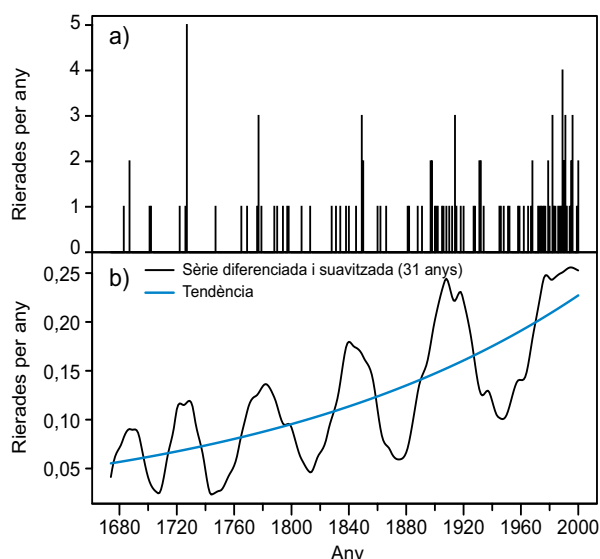


Figura 3. Evolució temporal de rierades a la riera d'Arenys des del 1674. Al panell a) es mostra el nombre de rierades documentades per any. Al panell b) es presenta la sèrie diferenciada i suavitzada i la funció exponencial que s'ha fet servir per eliminar la tendència de l'índex. A la figura 5 es pot veure l'índex IR resultant.

pertany a Arenys de Mar. La seva conca té una superfície d'uns 12.94 km² (la quarta del Maresme en extensió), un pendent mitjà de 3.3% (Forn Salvà, 2002) i una longitud del canal principal de 5.24 km (Font Cisteró i Gutiérrez Camarós, 2014).

Bases de dades

Registre de rierades i inundacions

El registre de rierades que s'ha fet servir en aquest treball s'ha extret del llibre *Entranyable Riera* (Forn Salvà, 2002). Aquestes *proxy-dades* provenen de documents eclesiàstics i civils, diaris i revistes en què es detallava informació sobre desperfectes causats per les rierades, arranjaments del rec, pèrdues materials i fins i tot vides humanes. Assumint que el registre es va realitzar de forma sistemàtica, aquesta informació permet tenir una estimació del nombre de rierades que s'han anat succeint durant els darrers segles. Per aquest estudi s'ha fet servir el registre a partir de l'any 1674 a causa de la poca densitat de dades que presenta el període anterior. En total, el registre fet servir comptabilitza 118 rierades compreses entre els anys 1674 i el 2000 (fig. 3a).

Per validar els resultats vam fer servir i) el registre d'inundacions històriques de Catalunya (Agència Catalana de l'Aigua i Direcció General de Sostenibilitat de la Costa i el Mar, 2012), que comprèn tot el territori de Catalunya des de l'any 1421 (fig. 4a; només s'ha fet servir a partir del 1674 igual que el registre de rierades) i ii) la sèrie de precipitació de l'Observatori Fabra (període 1914-2000), situat a Collserola, per ser el registre

de precipitacions més llarg i més geogràficament proper a l'àrea d'estudi que s'ha pogut aconseguir. Amb la sèrie de precipitació es va calcular el nombre de dies per any en què el registre de precipitació va ser superior a 25 mm, com a aproximació d'un episodi de fortes pluges, potencial causant de rierades (fig. 1e).

Teleconnexions i taques solars

Les mesures de pressió atmosfèrica més antigues, amb què tradicionalment s'han calculat els índexs de teleconnexió, es remunten fins al segle XIX. És per això que per a l'elaboració d'aquest treball vam optar per fer servir dues sèries reconstruïdes de l'ENSO i dues de la NAO. Pel que fa a l'ENSO s'ha fet servir: i) la sèrie d'octubre a març (ENSO_{iw}, Mann *et al.*, 2000) i ii) la sèrie d'anyal (ENSO_a, Li *et al.*, 2011). Les dues sèries reconstruïdes de la NAO utilitzades han estat: i) la sèrie mensual de Luterbacher *et al.* (2002) amb la què es va calcular un índex NAO mitjà anual (a partir d'ara NAO_a) i ii) la sèrie de la NAO d'hivern (desembre-febrer, a partir d'ara NAO_{iw}) de Trouet *et al.* (2009). Les dades mensuals de l'índex la WeMO (1821-2000) van ser descarregades de la web del grup de climatologia de la UB (<http://www.ub.edu/gc/English/wemo.htm>) i van servir per calcular la WeMO_a anual. Alhora, també es va fer servir la reconstrucció històrica de l'índex WeMO hivernal (1500-2000, per als mesos desembre, gener i febrer, WeMO_{iw}) (Oliva *et al.*, 2006).

Les dades de taques solars es van descarregar de la web del Working Group on Surface Pressure sota l'auspici del Global Climate Observing System (Physical Sciences Division de la National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA). Les dades es troben accessibles a partir del següent enllaç: <http://sidc.oma.be/DATA/monthssn.dat>.

Anàlisi de dades

En primer lloc, vam diferenciar $([x_t - x_{t-1}] / x_{t-1})$ la sèrie de rierades per intentar eliminar la tendència a l'increment en el nombre de rierades a mesura que ens apropem a l'època actual. Aquest augment es va assumir que era causat per un artefacte que produï una manca de notificació o una pèrdua de documents (com més antic és un document, més probable és que es perdi o que la rierada no hagi estat registrada). Seguidament, vam procedir a suavitzar la sèrie diferenciada (fig. 3b) fent servir una regressió local no paramètrica (Cleveland, 1979) agafant una finestra de 31 anys. Atès que la sèrie continuava presentant una clara tendència a l'increment de rierades amb el pas dels anys, es va ajustar una funció exponencial per eliminar-la. L'Índex de Rierades (IR) final es va calcular a partir dels residus estandarditzats de la regressió exponencial abans esmentada. Es va seguir la mateixa metodologia per calcular l'In-

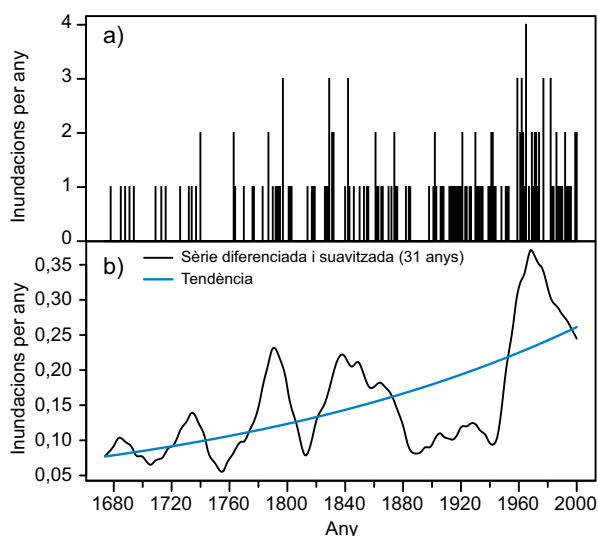


Figura 4. Registre de les inundacions històriques de Catalunya segons l'Agència Catalana de l'Aigua i la Direcció General de Sostenibilitat de la Costa i el Mar (2012) des del 1674. Al panell a) es mostra el nombre d'inundacions documentades per any. Al panell b) es presenta la sèrie diferenciada i suavitzada i la funció exponencial que s'ha fet servir per eliminar la tendència de l'índex. A la figura 6 es pot veure l'índex IC resultant.

dex d'Inundacions Històriques de Catalunya (fig. 4b). Les sèries de teleconnexions i taques solars també es van suavitzar fent servir la mateixa tècnica i la mateixa finestra temporal que la sèrie de rierades. Aquestes sèries però, no van requerir de diferenciació ni d'eliminació de la tendència.

Finalment vam dur a terme anàlisis de correlació de Spearman (ρ) entre els índexs de rierades i inundacions i els de teleconnexions i taques solars per testar si hi existeix relació a escala inter-decadal. En aquest treball s'ha fet servir la correlació de Spearman ja que la seva validesa no

requereix acomplir les assumpcions de normalitat, linealitat ni homoscedasticitat, a diferència de la correlació de Pearson. Atès que es van realitzar múltiples correlacions amb les mateixes variables (per exemple IR-ENSO, NAO, WeMO, ...), els valors de P van ser corregits fent servir el mètode de Bonferroni, considerat un dels més conservadors per reduir l'error de tipus α (o tipus I).

Resultats i discussió

Tal com indicava Forn Salvà (2002), la sèrie suavitzada de rierades de la riera d'Arenys (IR) mostra una periodicitat d'aproximadament 60 anys, el que podria dur-nos a anomenar les oscil·lacions decadals de la freqüència de rierades com a *quasi periòdiques* (fig. 5). Llevat del període de final del segle XIX i principi del segle XX, L'IC presenta un comportament força semblant (fig. 6) i es correlaciona moderadament bé amb l'IR ($\rho=0,25$, $P<0,001$). Alhora, la correlació entre l'IR i els dies de precipitació superior a 25 mm per any a l'Observatori Fabra presenta una correlació molt elevada (fig. 5, taula 1), el que ens indica la connexió climàtica entre la façana litoral de la serra de Collserola i la del Maresme. Tanmateix, l'IC no presenta una correlació significativa amb els episodis de pluja abundant a Collserola (taula 1), degut, segurament, del fet que el registre d'inundacions històriques comprèn àmbits geogràfics climàticament desconnectats de la façana litoral (e.g., Pirineus).

L'anàlisi de correlacions amb els índexs de taques solars i teleconnexions ens mostren que la màxima correlació amb l'IR la presenta la NAO_i, seguida per la NAO_{iw} (taula 1). A la figura 5 es pot veure com els períodes d'alta freqüència de rierades coincideixen amb períodes de NAO_i positiva malgrat que s'intueix un cert desacoblament temporal de les sèries. Tot i que estudis previs

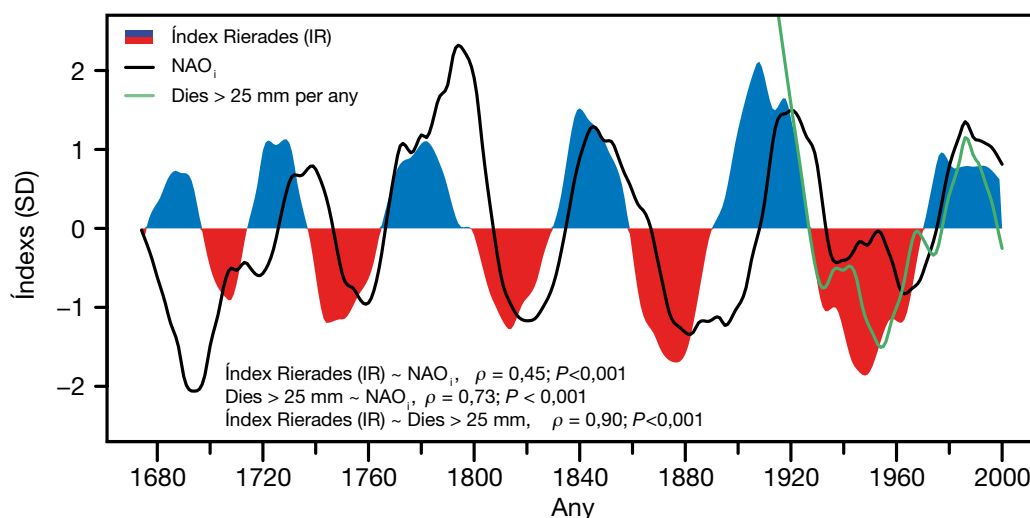


Figura 5. Evolució temporal dels índexs IR (rierades), NAO_i i dels dies per any amb precipitació superior a 25 mm a l'Observatori Fabra. En blau i vermell es destaquen períodes en què les rierades van ser respectivament, més i menys freqüents que de mitjana. Tots els índexs estan representats en unitats de desviacions estàndards (SD).

Taula 1. Taula de correlacions entre dels índexs IR, IC i el nombre de dies per any amb precipitació >25 mm a l'Observatori Fabra amb el nombre de taques solars i els índexs de teleconnexions. Nivells de significació: n.s. no significatiu, $P>0.05$; * $P<0.05$; ** $P<0.01$; *** $P<0.001$

	Taques solars	ENSO _i	ENSO _{iw}	NAO _i	NAO _{iw}	WeMO _i	WeMO _{iw}	Dies >25 mm
Rierades (IR)	0.03 ^{n.s.}	0.14	-0.05 ^{n.s.}	0.45***	0.26***	0.08 ^{n.s.}	-0.08 ^{n.s.}	0.90***
Inundacions (IC)	0.51***	0.00 ^{n.s.}	-0.27***	0.36***	-0.16*	-0.43***	-0.29***	0.06 ^{n.s.}
Dies >25 mm	-0.41***	0.34**	0.14 ^{n.s.}	0.73***	0.64***	-0.22 ^{n.s.}	-0.18 ^{n.s.}	

han demostrat la relació entre la WeMO_i i la freqüència i intensitat de les precipitacions al llevant peninsular a escala diària, mensual i anual (Martín-Vide i López-Bustins, 2006; Martín-Vide *et al.*, 2008), dels nostres resultats es podria deduir que, a escala decadal, la NAO_i té una influència més forta. Aquesta hipòtesi es referma amb la forta correlació que també presenta la NAO_i amb la precipitació abundant a l'Observatori Fabra (fig. 5, taula 1).

Pel que fa a l'IC, la màxima correlació la trobem amb les taques solars (fig. 6), si bé és cert que la llargada de la sèrie de taques solars és menor i això pot esbiaixar els resultats. Després de les taques solars, la WeMO_i (també més curta, des de 1821) i la NAO_i són les variables més correlacionades amb l'IC (taula 1). Això fa pensar novament en la NAO_i com a controlador més probable de les inundacions a Catalunya. El fet que, de tenir un efecte (vegeu introducció), les taques solars afectin més globalment que no pas regionalment i que presentin una relació negativa amb els dies de precipitació abundant de l'Observatori Fabra (taula 1), ens fa descartar amb encara més motius la possibilitat que aquestes tinguin un efecte controlador de les inundacions a Catalunya. Tot plegat fa pensar que els resultats que hem trobat podrien ser deguts a una possible correlació espúria entre les taques solars i l'IC. D'altra banda, l'efecte que podrien

tenir els rajos còsmics (inversament relacionats amb les taques solars) sobre l'augment de nuvolositat, que potencialment podria produir més precipitació, s'hauria de veure reflectit amb una correlació negativa entre l'IC i les taques solars i no pas positiva. Sembla, per tant, poc probable que l'origen de la variabilitat interdecadal en la freqüència de rierades o inundacions vingui determinada per les variacions en el nombre de taques solars o els rajos còsmics que arriben a la terra.

D'altra banda, l'IC està compost pel registre d'inundacions històriques que s'han anat succeint a diferents indrets repartits arreu de Catalunya. Això fa, sens dubte, que l'anàlisi per l'IC sigui menys robust que per l'IR, ja que aquesta darrera sèrie és més sistemàtica en acotar-se a una sola riera i àmbit geogràfic. Tot i això, i malgrat les mancances de l'IC, els resultats són prou semblants als de l'IR com per fer-nos pensar que el que tenen en comú, que és l'efecte de la NAO_i, sigui la causa més probable de la seva variabilitat interdecadal (d'entre les possibles explicacions tingudes en compte).

Pel que fa a l'ENSO, els resultats mostren una correlació negativa entre l'IC i l'ENSO_{iw}, que no es confirma amb el valor de correlació de l'ENSO_i. Més semblant és el resultat de les correlacions entre l'ENSO_i i l'ENSO_{iw} amb la sèrie de dies de precipitació abundant a l'Observatori

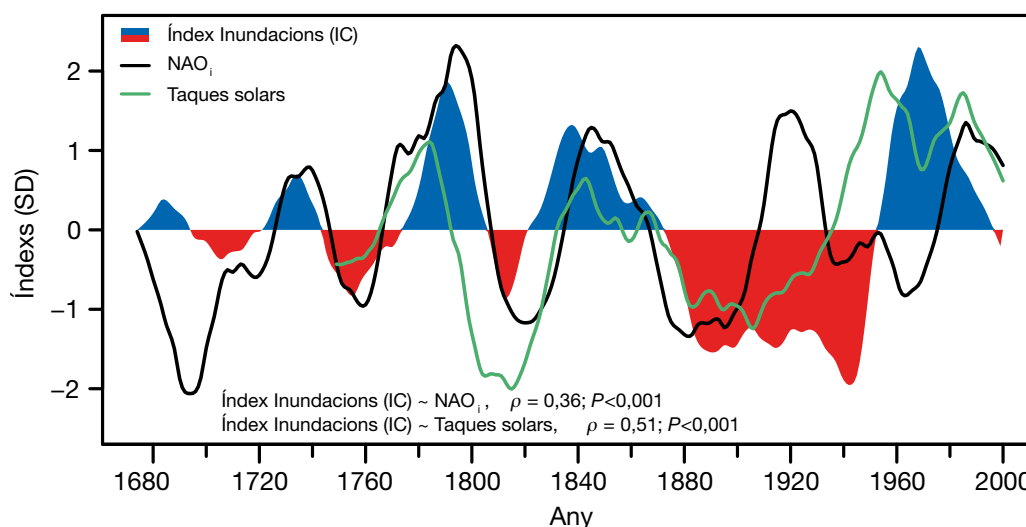


Figura 6. Evolució temporal dels índexs IC, NAO_i i del nombre de taques solars per any. En blau i vermell es destaquen períodes en què les inundacions van ser respectivament, més i menys freqüents que de mitjana. Tots els índexs estan representats en unitats de desviacions estàndard (SD).

Fabra, malgrat que per la segona, la correlació no sigui significativa (taula 1). Tot i això, el fet que no aparegui cap correlació significativa entre l'ENSO i l'IR fa descartar la influència d'aquesta teleconnexió en les rierades i fa pensar en una possible correlació espúria amb la precipitació de l'Observatori Fabra.

Consideracions sobre els resultats obtinguts

Com l'àvid lector deu haver percebut, aquest treball està molt lluny de poder demostrar que la variabilitat interdecadal de la NAO sigui la causant de la periodicitat *quasi-seixanta-anual* que presenta la sèrie de les rierades d'Arenys o de trobar els mecanismes pels quals la NAO i les rierades haurien d'estar connectades. És només a l'abast d'aquest treball fer una petita contribució, en forma d'idees i una petita anàlisi de correlacions, per a futurs treballs molt més rigorosos perquè, amb el temps, hom pugui dir, amb tota la certesa que li sigui possible, què ha fet (i farà) canviar el clima de casa nostra.

Implicacions de variabilitat interdecadal

El fet que la NAO pugui condicionar la freqüència de rierades té implicacions més enllà de la climatologia i la freqüència de rierades, a causa dels vincles existents entre l'estat de l'atmosfera, la geosfera, la biosfera i el sistema socioeconòmic. Cadascun d'aquests subsistemes dins del sistema *serralada litoral central* poden presentar diferents interaccions entre ells depenent de la torrencialitat de les pluges i la freqüència d'avingudes a les rieres.

D'una banda, períodes *quasi-seixanta-anuals* d'elevada freqüència de rierades comporten alhora cicles d'elevada i baixa erosió de les muntanyes. Això pot comportar, alhora, oscil·lacions similars en l'aportació de sediment a les platges del Maresme, essent aquesta inferior en períodes de baixa freqüència de rierades (Guillén *et al.*, 2014) i per tant d'erosió. Tanmateix, a causa que bona part de les rierades tenen lloc durant temporals de llevant (que acostumen a comportar una reducció de sorra de les platges) és possible que aquestes oscil·lacions fossin de signe contrari a l'esperat per un augment de sediment abocat al mar o que ambdós processos es contrarestessin i que aquestes oscil·lacions no fossin apreciables. En qualsevol cas, seria molt interessant disposar d'un *proxy* de caire geològic que ens permetés reconstruir els períodes d'alta i baixa freqüència de rierades, si bé és cert que el caràcter sorrenc del litoral maresmenc segurament en dificulti la tasca.

D'altra banda, els ecosistemes mediterranis són molt dependents de la disponibilitat d'aigua. Aquests cicles de precipitacions intenses podrien també deixar petjada sobre comunitats vegetals i animals o sobre el funcionament dels ecosistemes. No han estat pocs els treballs que

han relacionat l'estat de la NAO amb els canvis de fenologia, densitat de poblacions animals, brots de plagues o fins i tot segrest de carboni dels ecosistemes (Bastos *et al.*, 2014; Hallett *et al.*, 2004; Hódar *et al.*, 2011). A causa que els boscos més fèrtils creixen més i poden segrestar més carboni (Fernández-Martínez *et al.*, 2014), els cicles d'elevada erosió podrien provocar un empobriment recurrent de nutrients a les capçaleres de les conques, limitant-ne la capacitat de segrest de carboni i desplaçant-la cap a zones més planeres. Un altre exemple el trobaríem en el fenomen reproductiu de l'anyivoria, que en el cas de l'alzina (arbre dominant del Maresme) és també molt dependent de la disponibilitat hídrica en aquesta zona (Fernández-Martínez *et al.*, 2012). Aquest fenomen, que consisteix en què una mateixa població uns anys produeix molta llavor i d'altres molt poca o cap, es podria veure alterat per aquests cicles de la NAO, i provocar una cascada d'efectes als ecosistemes que es transmetrien a diferents nivells de l'escala tròfica (e.g., si es produeixen més aglans, els frugívors tenen més recursos i la població pot créixer, els seus depredadors podran tenir més aliment i així el pols de recursos es transmetria al llarg de la xarxa tròfica).

Els efectes que aquests cicles puguin tenir sobre la natura, sens dubte, acabaran afectant l'ésser humà i el seu sistema socioeconòmic, començant per l'agricultura i acabant pels desperfectes ocasionats per les avingudes de les rieres. Per tant, els presumptes cicles *quasi-seixanta-anuals*, de confirmar-se la seva existència, tindrien efectes més enllà del sol fet de provocar fortes pluges i l'avinguda de les rieres, afectant diversos subsistemes del petit sistema maresmenc.

La humanitat, en el seu afany per dominar la natura, ha intentat estalviar-se els contratemps que les rierades li ocasionaven, atacant la mateixa natura de les rieres, ja fora desviant-les, canalitzant-les o fins i tot soterrant-les (com és el cas de la d'Arenys). Malgrat els esforços, temporals com els de la passada tardor (2014), que van fer que s'esfondrés un tram de la rambla de Figueres, ens recorden la veritable personalitat de les rieres: senyores que baixen quan i per on volen i no per on a nosaltres ens agradaria. Així que no us pregunteu si tornaran a baixar les rieres. Pregunteu-vos quan ho faran!

Agraïments

Volem agrair la col·laboració de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona (RACAB) per facilitar les dades de l'estació meteorològica de l'Observatori Fabra; a Joan Albert López Bustins i Javier Martín Vide per fer accessibles i distribuir les dades de l'índex WeMO; a la NOAA i als científics que han contribuït amb les seves dades a l'elaboració d'aquest treball. Agraïm també al sol, per sortir a il·luminar-nos cada dia.

Referències

- Agència Catalana de l'Aigua i Direcció General de Sostenibilitat de la Costa i el Mar (2012). *Avaluació preliminar del risc d'inundació del districte de conca fluvial de Catalunya*.
- Bastos, A., Janssens, I.A., Gouveia, C. i Trigo, R.M. (2014). The role of the North Atlantic Oscillation and the East Atlantic Pattern in the inter-annual variability of the European CO₂ sink. In: *1st ICOS Science Conference - International Conferences on Greenhouse Gases and Biogeochemical Cycles*, 23-25 September. Brussels.
- Cleveland, W.S. (1979). Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of American Statistical Association*, 74: 829-836.
doi: [10.1080/01621459.1979.10481038](https://doi.org/10.1080/01621459.1979.10481038)
- Eddy, J. 1976. The maunder minimum. *Science*, 192: 1189-1202.
doi: [10.1126/science.192.4245.1189](https://doi.org/10.1126/science.192.4245.1189)
- Fernández-Martínez, M., Belmonte, J. i Espelta, J.M. (2012). Masting in oaks: Disentangling the effect of flowering phenology, airborne pollen load and drought. *Acta Oecologica*, 43: 51-59.
doi: [10.1016/j.actao.2012.05.006](https://doi.org/10.1016/j.actao.2012.05.006)
- Fernández-Martínez, M., Vicca, S., Janssens, I.A., Sardans, J., Luysaert, S., Campioli, M., Chapin III, F.S.S., Ciais, P., Malhi, Y., Obersteiner, M., Papale, D., Piao, S.L., Reichstein, M., Rodà, F. i Peñuelas, J. (2014). Nutrient availability as the key regulator of global forest carbon balance. *Nature Climate Change*, 4: 471-476.
doi: [10.1038/nclimate2177](https://doi.org/10.1038/nclimate2177)
- Font Cisteró, X. i Gutiérrez Camarós, J. (2014). Les rierades al Maresme. *L'Atzavara*, 23: 61-79.
- Forn Salvà, F. (2002). *Entranyable riera*. Els llibres del Set-ciències, Arenys de Mar.
- Foukal, P., Fröhlich, C., Spruit, H. i Wigley, T.M.L. (2006). Variations in solar luminosity and their effect on the Earth's climate. *Nature*, 443: 161-166.
doi: [10.1038/nature05072](https://doi.org/10.1038/nature05072)
- Grove, R.H. (1998). Global impact of the 1789-93 El Niño. *Nature*, 393: 318-319.
doi: [10.1038/30636](https://doi.org/10.1038/30636)
- Guillén, J., Serra, J., Durán, R. i Simarro, G. (2014). Les platges del Maresme revisitades. *L'Atzavara*, 23: 15-21.
- Hallett, T.B., Coulson, T., Pilkington, J.G., Clutton-Brock, T.H., Pemberton, J.M. i Grenfell, B.T. (2004). Why large-scale climate indices seem to predict ecological processes better than local weather. *Nature*, 430: 71-75.
doi: [10.1038/nature02708](https://doi.org/10.1038/nature02708)
- Hódar, J.A., Zamora, R. i Cayuela, L. (2011). Climate change and the incidence of a forest pest in Mediterranean ecosystems: can the North Atlantic Oscillation be used as a predictor? *Climate Change*, 113: 699-711.
doi: [10.1007/s10584-011-0371-7](https://doi.org/10.1007/s10584-011-0371-7)
- Hurrell, J., Kushnir, Y., Ottensen, G. i Visbeck, M. (2003). *An overview of the North Atlantic oscillation*. Wiley Online Library.
- Li, J., Xie, S.-P., Cook, E.R., Huang, G., D'Arrigo, R., Liu, F., Ma, J. i Zheng, X.-T. (2011). Interdecadal modulation of El Niño amplitude during the past millennium. *Nature Climate Change*, 1: 114-118.
doi: [10.1038/nclimate1086](https://doi.org/10.1038/nclimate1086)
- Luterbacher, J., Xoplaki, E., Dietrich, D., Jones, P.D., Davies, T.D., Portis, D., Gonzalez-Rouco, J.F., Storch, H. von, Gyalistras, D., Casty, C. i Wanner, H. (2002). Extending North Atlantic Oscillation reconstructions back to 1500. *Atmospheric Science Letters*, 2: 114-124.
doi: [10.1006/asle.2001.0044](https://doi.org/10.1006/asle.2001.0044)
- Mann, M.E., Bradley, R.S. i Hughes, M.K. (2000). Long-term variability in the ENSO and associated teleconnections. In: Diaz, H.F., Markgraf, V. (eds.), *Multiscale Variability and Global and Regional Impacts*. Cambridge Univ. Press, New York, pp. 357-412.
- Martín-Vide, J. 2002. Les teleconnexions. In: *El temps i el clima*. Rubes Editorial, Barcelona, pp. 93-110.
- Martín-Vide, J. i López-Bustins, J.-A. (2006). The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 1475: 1455-1475.
doi: [10.1002/joc.1388](https://doi.org/10.1002/joc.1388)
- Martín-Vide, J., Sanchez-Lorenzo, A., López-Bustins, J.A., Cordobilla, M.J., García-Manuel, A. i Raso, J.M. (2008). Torrential rainfall in northeast of the Iberian Peninsula: synoptic patterns and WeMO influence. *Advances in Science and Research*, 2: 99-105.
doi: [10.5194/asr-2-99-2008](https://doi.org/10.5194/asr-2-99-2008)
- NOAA. (2012). State of the Climate: Global Analysis for Annual 2012.
- Oliva, M., López-Bustins, J., Barriendos, M., Muedra, C. i Martín-Vide, J. (2006). Reconstrucción histórica de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) e inundaciones en el levante peninsular (1500-2000). In: *Actas V Congreso de La Asociación Española de Climatología (AEC)*. Zaragoza, pp. 241-250.
- Pierce, J.R. i Adams, P.J. (2009). Can cosmic rays affect cloud condensation nuclei by altering new particle formation rates? *Geophysical Research Letters*, 36: 1-6.
doi: [10.1029/2009GL037946](https://doi.org/10.1029/2009GL037946)
- Svensmark, H. i Friis-Christensen, E. (1997). Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage—a missing link in solar-climate relationships. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 59: 1225-1232.
doi: [10.1016/S1364-6826\(97\)00001-1](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(97)00001-1)
- Trigo, R.M., Osborn, T.J. i Corte-Real, J.M. (2002). The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms. *Climate Research*, 20: 9-17.
doi: [10.3354/cr020009](https://doi.org/10.3354/cr020009)
- Trouet, V., Esper, J., Graham, N.E., Baker, A., Scourse, J.D. i Frank, D.C. (2009). Persistent positive North Atlantic oscillation mode dominated the Medieval Climate Anomaly. *Science*, 324: 78-80.
doi: [10.1126/science.1166349](https://doi.org/10.1126/science.1166349)